УДК 631.333.4

В.А.ЧЕРНОВОЛОВ, В.А.ЛУХАНИН, Е.В ПОВОЛОЦКАЯ

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЦЕНТРОБЕЖНОГО АППАРАТА ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПРИ РЕВЕРСИВНОМ ПРИВОДЕ ДИСКОВ

Выполненное моделирование позволяет исследовать зависимости основных выходных параметров диска от факторов, характеризующих место подачи, угол наклона лопаток, свойства удобрений и направление вращения диска. Изменением входных факторов можно получить заданные выходные характеристики для работы аппарата на поле в безветрии, с ветрозащитой и на склоне. Реверсивное вращение дисков позволяет уменьшить диапазон регулировки положения туконаправителей или диапазон регулировки угла наклона лопаток.
Ключевые слова: *туконаправитель, диапазоны регулировки, удобрения минеральные, аппарат распределяющий, центробежный, привод дисков реверсивный, ветрозащита, реверсивное вращение дисков*

Введение. Двухдисковый центробежный аппарат для рассева минеральных удобрений более устойчив к изменению свойств удобрений. Такой аппарат позволяет регулировать ширину кузова в нижней его части и этим увеличить общую грузоподъемность машины. По этим причинам двухдисковые аппараты применяют на прицепных и навесных машинах большой грузоподъемности.

Традиционным считается вращение дисков, когда в передней части машины лопатки движутся встречно. Сброс удобрений с лопаток дисков происходит в задней части машины. Секторы рассева дисков частично перекрывают друг друга. Если диски установлены в одной горизонтальной плоскости, то создаются взаимные помехи в работе дисков. Частицы удобрений, сброшенные одним диском, попадают на лопатки другого диска, снова сбрасываются и могут попадать на лопатки первого диска. Такие многократные соударения приводят к образованию облака частиц, хаотично движущихся вблизи от линии движения машины. В центре полосы рассева образуется пик дозы.

Отметим, требования к величине сектора рассева и его расположению относительно линии движения при работе в безветрии, на склоне и с ветрозащитой различны. В связи с этим целью настоящего исследования является изучение возможностей использования реверсивного вращения дисков для повышения эффективности функционирования центробежных распределительных аппаратов.

Постановка задачи. В конструкции машин для рассева минеральных удобрений предусматривают регулировки положения и величины сектора рассева путем изменения положения туконаправителя или угла наклона лопаток. Регулировки эти оказываются либо трудоемкими, либо недостаточно эффективными, либо конструктивно выполняются достаточно сложно.

У кузовных машин регулировку положения туконаправителя удобнее выполнить продольным его перемещением. Однако только такой регу-

лировки может оказаться недостаточно, поэтому необходимо предусмотреть еще и поперечное смещение туконаправителя.

У бункерных однодисковых машин дозирующее устройство выполняют в виде двух дисков с ортогонально расположенными прорезями переменной ширины. Прорези ограничены двумя логарифмическими спиралями. Дозу внесения регулируют взаимным поворотом дисков. При этом пересечение прорезей происходит при другом расстоянии от центра, и площадь отверстия изменяется. Требование по величине математического ожидания угла бросания в этом случае выполнить легко путем совместного поворота дозирующих дисков вокруг оси распределяющего диска. Величину сектора рассева надо регулировать изменением расстояния от оси вращения распределяющего диска до центра дозирующего отверстия. Это дополнительная регулировка.

Когда конструктор не может решить правильно эти проблемы, он идет по пути более простого решения и, следовательно, по пути ухудшения качества распределения удобрений. По этой причине на современных машинах для поверхностного внесения минеральных удобрений не применяют ветрозащиту. Тогда как применение ветрозащиты с оптимальными параметрами позволяет получить равномерность распределения удобрений, такую как при работе зерновых сеялок с катушечными аппаратами. Машины с такой ветрозащитой можно использовать для разбросного посева риса и других сельскохозяйственных культур.

Дополнительные возможности для оптимизации работы аппарата в различных условиях может дать применение реверсивного вращения дисков. Задача состоит в том, чтобы при минимальных перемещениях туконаправителя и регулировках угла наклона лопаток получить оптимальное распределение удобрений в различных условиях функционирования.

Обоснование направления вращения дисков. Рассмотрим вариант, когда при обычном рассеве удобрений диски вращаются так, что лопатки впереди машины движутся вразлет (рис.1,а). Перекрытие секторов рассева происходит вдали от машины, и взаимные помехи исключены, так как поток удобрений веерообразно расширяется и при удалении от машины плотность потока уменьшается. Соударения частиц при пересечении разреженных потоков мало вероятны.

С ветрозащитой (рис.1,в) диски включают на встречное вращение. Секторы дисков при этом повернуты по направлению вращения дисков и перекрытия секторов рассева нет. Если правильно подобраны место подачи и угол наклона лопаток, то других регулировок не требуется.

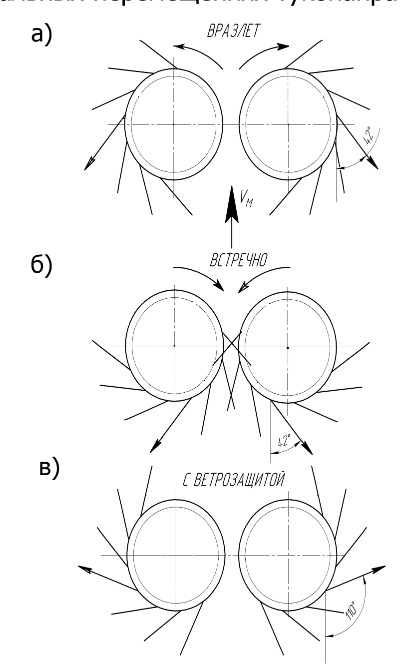


Рис.1. К выбору направления вращения дисков: а – вразлет; б – встречно; в – с ветрозащитой

Регулировка выполняется переключением редуктора либо перестановкой ремня на другой шкив. Поворот сектора по склону тоже можно выполнить реверсированием вращения диска.

Изменение фрикционных свойств удобрений приводит к изменению математического ожидания угла бросания. Для его поддержания на оптимальном уровне регулировка требуется, но диапазон регулировки уменьшается, и его конструктивное исполнение упрощается. В этом варианте проще выполнить систему автоматической стабилизации угла бросания.

Математическая модель. Рассмотрим движение частицы удобрений по лопатке горизонтального вращающегося диска (рис.2) с целью нахождения скорости и направления полета частицы после схода с лопатки.

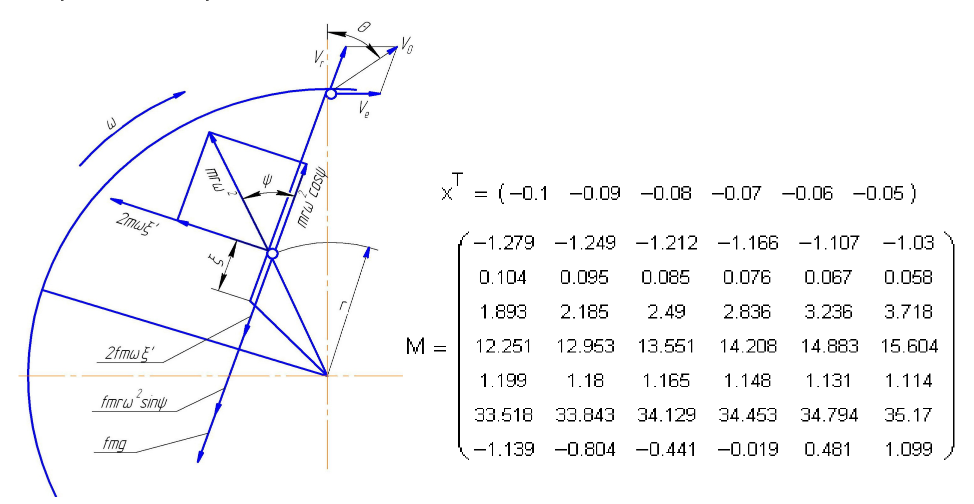


Рис.2. Схема сил, действующих на частицу и вывод результатов счета

На частицу массой m, захваченную лопаткой, в горизонтальной плоскости действуют: центробежная сила инерции $P_ц = m\, r\, \omega^2$, нормальная реакция *N*, силы трения *fmg и fN*, Кориолисова сила инерции $P_x=2m\omega\xi'$, где *f* – коэффициент трения удобрений о лопатку и диск; ξ – ось координат, направленная вдоль лопатки; ξ' – скорость движения частицы относительно лопатки; *r* – радиус-вектор частицы.

Начало отсчета оси ξ принято от точки подачи частицы. Радиус-вектор этой точки обозначен r_O (см.рис.2).

Дифференциальное уравнение движения частицы имеет вид:

$$\xi'' = r\,\omega^2 \cos\psi - fg \pm f\, r\,\omega^2 \sin\psi - 2\, f\,\omega\,\xi', \qquad (1)$$

где ψ - угол между плоскостью лопатки и радиусом-вектором частицы.

Верхний знак (+) в уравнении (1) соответствует лопатке, отклоненной назад, а нижний (-) – вперед по направлению вращения.

Так как $r \sin\psi = r_0 \sin\psi_0$ и $r \cos\psi = \xi + r_0 \cos\psi_0$, то после преобразований уравнения (1) получим:

$$\xi'' + 2\, f\,\omega\,\xi' - \omega^2\,\xi = r_0\,\omega^2\,\frac{\cos(\psi_0 \mp \varphi)}{\cos\varphi} - fg, \qquad (2)$$

где φ – угол трения частиц о поверхности лопатки и диска; ψ_0 – угол наклона лопатки в точке подачи частицы.

б)

Решение уравнения (2) имеет вид:

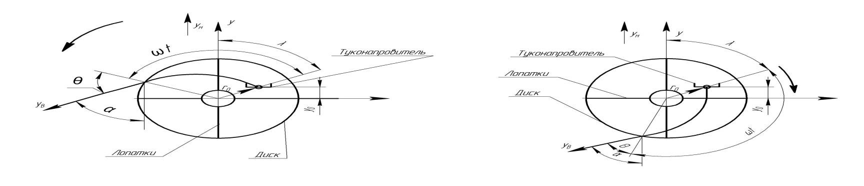
$$\xi = C_1 \ e^{\lambda_1 t} + C_2 \ e^{\lambda_2 t} + B - A, \qquad (3)$$

где $A = \dfrac{fg}{\omega^2}$; $B = r_0 \dfrac{\cos(\psi_0 \mp \varphi)}{\cos\varphi}$; $\lambda_1 = \dfrac{1 - \sin\varphi}{\cos\varphi}\omega$; $\lambda_2 = -(\dfrac{1 + \sin\varphi}{\cos\varphi}\omega)$;

C_1 и C_2 - постоянные интегрирования, определяемые по начальным условиям.

Если в уравнении (3) координате ξ присвоить значение, равное полной длине лопатки, то можно определить время t_1 движения частицы по диску. Так как время входит в показатели степеней двух экспонент, то его находят решением трансцендентного уравнения. После определения времени движения частицы по лопатке диска необходимо найти выходные параметры движения частицы, влияющие на дальность и плотность распределения частиц по полю.

На рис.3 схематически показаны прямоугольные x, y и полярные r_0, λ_0 координаты точек подачи и выходные характеристики работы диска. Наиболее важными из них являются: угол схода; угол бросания; относительная и абсолютная скорости; угол отклонения абсолютной скорости от радиуса-вектора частицы при ее сходе с диска.



x

Рис.3. Определение угла бросания при реверсе вращения диска

Диск за время движения частицы по лопатке повернется на угол ωt. В момент схода частица имеет скорость V_0, которая равна геометрической сумме относительной и переносной скоростей (см.рис.2 и 3). Скорость V_0 отклонена от радиуса-вектора частицы на угол θ, а от линии движения машины на угол α. Относительную скорость движения частицы по лопатке определяют по уравнению:

$$\xi' = \upsilon_e = (A - B) \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}(\exp(\lambda_1 -t) \quad \exp(\lambda_2 \ t)). \qquad (4)$$

Абсолютная скорость частицы в момент схода с диска находится суммированием векторов υ_r и υ_e.

Угол схода частицы, т.е. угловое перемещение частицы в абсолютном движении до момента схода с лопатки, находим по формуле:

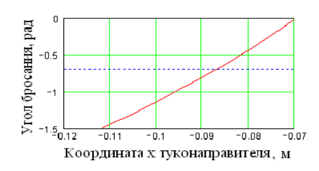
$$\omega \ t_l = \omega \ t_1 \pm (\psi_0 - \psi_R). \qquad (5)$$

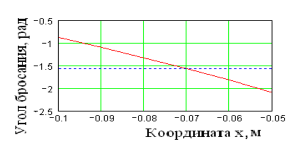
Углы α_1, α_2 бросания частицы при реверсировании вращения диска по рис.4 определим по формулам:

$$\alpha_1 = \lambda_0 + \omega \quad t + \theta - \pi \; ; \qquad (6)$$

$$\alpha_2 = \lambda - \omega \quad t - \theta + \pi \; . \qquad (7)$$

В формулах (5)-(7) положительное направление отсчета углов принято по часовой стрелке. Начало отсчета углов *α* принято от линии, параллельной оси *y*, в основном по кратчайшему расстоянию, т.е. так, чтобы математическое ожидания угла бросания по модулю было меньше $\pi / 2$. Остальные углы отсчитываются от положительного направления оси *y* по часовой стрелке.





а) б)

Рис.4. Выбор места подачи при вращении дисков вразлет (а) и работе с ветрозащитой (б)

Моделирование в системе Mathcad работы центробежного диска выполнено на основе приведенных зависимостей (1)-(7). Программа вычисляет характеристики аппарата при работе с одиночными частицами, подаваемыми в точке с координатами *x, y*, или распределенными вдоль лотка с координатой y_0 и циклической координатой *x*. Результат счета выводится в виде матрицы (см.рис.2). В строках матрицы выведены: угловая координата точки подачи; радиус-вектор точки подачи; угол ωt; относительная скорость частицы; угол θ отклонения абсолютной скорости от радиуса-вектора частицы в момент схода; начальная скорость метания; угол бросания.

Программа зарегистрирована в отраслевом фонде алгоритмов и программ. Для моделирования реверсивного движения в программе выполнены изменения, связанные со знаками в формулах (1)-(5). Программа позволяет выбрать наилучший вариант расположения зоны подачи удобрений на диск. Перебор возможных вариантов и анализ результатов моделирования превратились в процедуру, доступную студентам, конструкторам и исследователям.

Результаты моделирования работы центробежного аппарата. Угол бросания, относительная и абсолютная скорости метания увеличиваются при приближении зоны подачи к центру диска.

По рис.4,а и 4,б видно, что можно выбрать место подачи и угол наклона лопаток для выполнения условий оптимальности работы диска при работе в открытом исполнении и с ветрозащитой.

Для двухдискового аппарата рекомендуется принимать $M_\alpha = \pm 42^o$ при обычном рассеве удобрений.

По рис.1 для правого диска и схеме работы «вразлет» получим значение M_α= - 0.7 рад. Примем y_0 = 0.03 м и ψ_R = 0,1 рад. По результатам счета (см.рис.2 и 4) видно, что значение M_α= - 0.7 рад получено при x= - 0.087 и y = 0.03. При этом же положении туконаправителя и вращении диска против часовой стрелки диски работают «встречно». Этот режим пригоден для работы с ветрозащитой, если значение M_α= - 1,57 рад или меньше (см.рис.4,б). Угол бросания, равный 1,57 рад, получен при x, равном 0,07 м, т.е. туконаправитель надо сдвинуть в поперечном направлении всего на 0,017 м.

Более тщательным подбором угла наклона лопаток можно получить полное совпадение углов бросания, требуемых по заданию.

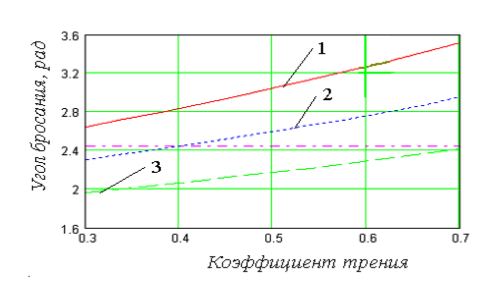


Рис.5. Зависимость угла бросания от коэффициента трения и поперечной координаты туконаправителя:

1 – x=0.08;
2 – x=0.1;

Влияние угла трения удобрений по лопаткам диска на угол бросания показано на рис.5. При x=0,1 м и коэффициенте трения f = 0.4 получено M_α= 2,442 рад, что равнозначно M_α= - 0,7 рад. Изменение коэффициента трения до 0,65 приводит к увеличению угла бросания до 2,84 рад, т.е. на 0,4 рад. Для восстановления прежнего значения M_α= 2,442 рад необходимо увеличить координату x на два сантиметра.

Выводы. 1. Применение системы компьютерной математики Mathcad позволяет рассчитать выходные параметры центробежного аппарата по решениям дифференциальных и трансцендентных уравнений без упрощающих допущений.

2. Реверсивное вращение дисков рекомендуется использовать при изменениях условий функционирования. При свободном выбросе удобрений предпочтительно вращение вразлет, при работе с ветрозащитой – встречно.

3. Реверсивное вращение дисков позволяет уменьшить диапазон регулировки положения туконаправителей или диапазон регулировки угла наклона лопаток.

Библиографический список

1. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин /П.М.Василенко. – Киев: Изд. УАСХН, 1960. – 283с.

2. Догановский М.Г., Рядных В.В. К определению параметров роторных разбрасывающих механизмов // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1965. – № 4. – С. 8-1I.

3. Догановский М.Г., Козловский Е.В., Рядных В.В. Выбор места подачи удобрений на бросковый механизм // Тракторы и сельхозмашины. – 1968. – №4. – С.33-36.

4. Скользаев В.А., Черноволов В.А. Методика технологического расчета центробежных дисковых аппаратов // Механизация и электрификация сельскохозяйственного производства: сб.ст. – Зерноград, 1969. Вып. ХП. – С. 135-140.

Материал поступил в редакцию 28.07.08.

V. CHERNOVOLOV; V. LUKHANIN; E. POVOLOTSKAYA.

THE SUBSTANTIATION OF THE PARAMETERS OF THE CENTRIFUGAL DEVICE FOR DISTRIBUTION OF THE MINERAL FERTILIZERS AT A REVERSING GEAR OF THE DISKS

The modeling done under the programme «DISK-REVERSE» allows to build the diagrams of dependence of the basic digital output parameters of the disk from the factors characterizing a place of giving, an angle of an inclination and direction of the disk rotation. The given digital output characteristics for work of the device on a field in calm, with wind protection and on a slope can be received by changing the digital input factors.
Reversing disk rotation allows to reduce a range of diapason of the manure guide or the range of regulation of an angle of boards inclination.

ЧЕРНОВОЛОВ Василий Александрович (р.1938), заведующий кафедрой механизации и растениеводства, доктор технических наук, профессор. Окончил Азово-Черноморскую государственную агроинженерную академию (1962).
Научные интересы в области механизации сельского хозяйства.
Автор более 160 научных публикаций.

ЛУХАНИН Владимир Александрович (р.1983), аспирант кафедры механизации и растениеводства. Окончил Азово-Черноморскую государственную агроинженерную академию (2005).
Научные интересы в области механизации сельского хозяйства
Автор 4 научных работ.

ПОВОЛОЦКАЯ Екатерина Викторовна, аспирант кафедры механизации и растениеводства. Окончила Азово-Черноморскую государственную агроинженерную академию (2006).
Научные интересы в области механизации сельского хозяйства
Автор 3 научных работ.